

Eljárás váltakozó feszültség elektronikus vagy mechanikus uton  
való feltranszformálására, és transzformátor

Kun Ákos villamos üzemmérnök, Budapest  
Bejelentés napja: 1978. 07. 07.

A találmány feszültségtranszformáló eljárás, és az eljárás  
alapján létrehozható transzformátor az adott váltakozó fe-  
szültség feltranszformálását hagyományos induktív átalakítók,  
különálló egységet képező transzformátorok igénybevétele nél-  
kül valósítja meg. A találmány eljárás segítségével a feltransz-  
formált feszültség bármely induktív jellegű elem induktív eneg-  
giájának impulzusonként való felszabadításával hozható létre.

Az egész világon ismert és általánosan használt transzformá-  
tort, feszültség illetve áram transzformáló eljárásként három  
magyar mérnök Déri, Bláthy, és Zipernowsky szabadalmaztatta  
1855-ben. A transzformátor mint különálló egységet képező  
indukciós villamosenergia átalakító elem, igen nagy hatásfoká-  
val, galvanikus leválasztó képességével, és egyéb előnyös tu-  
lajdonságaival mind a mai napig pótolhatatlan szerepet tölt  
be az elektronikában. A hagyományos transzformátor azonban  
bizonyos területeken súlyánál, nagy terjedelménél, és viszony-  
lag magas előállítási költségénél fogva csak nehézkesen, és  
jelentős többletkiadás árán alkalmazható. A találmány szerin-  
ti feszültségtranszformáló eljárás tulajdonképpen a hagyomá-  
nyos transzformátorok feszültségfeltranszformáló funkcióját  
képes az előbb említett hátrányok nélkül, az elektronika egyes  
területein speciális formában helyettesíteni. Mivel a talá-  
lmány feszültségfeltranszformáló eljárás, és az eljárás alap-  
ján készíthető transzformátor, elve közvetlenül az induktivi-  
tások és kondenzátorok fizikai tulajdonságain alapul, ezért

egyrészt az eljárás könnyebb megértése, másrészt a gyakorlati alkalmazás mind szélesebb körre való kiterjesztésének elősegítése érdekében, tekintsük át előbb ennek a két elektrotechnikai alapelemnek a működési mechanizmusát.

Az anyag legkisebb töltéssel rendelkező részecskéje az elektron. A fémes anyagok szerkezeti felépítésében, fizikai tulajdonságaik kialakításában azonban az elektron nemcsak mint atomi részecske vesz részt, hanem ellátja az elektromos vezetés, a töltésállapot létrehozás feladatát is. Negatív töltésüknél fogva mind az atomi kötelékben lévő, mind az atomról valamilyen külső kényszerítő körülmény hatására leváló elektronok taszítják egymást. A legkülső elektronhéjukon betöltetlen elektronhelyekkel rendelkező atomok viszont, mint pozitív töltésű részecskék vonzzák az elektronokat. Ezt a vonzó illetve taszító erőt elektromos erőnek nevezzük. Az elektron minden elektront taszít, bármilyen irányban is legyenek azok tőle. A szabad elektronok vonzó vagy taszító ereje elektromos erővonalak formájában nyilvánul meg. Az elektronok elektromos erővonalai mindig sugárirányúak, egy-egy elektron gömbsugarainak meghosszabbításaként foghatók fel. A kvantumfizika megállapításai szerint tulajdonképpen szabad elektronok nincsenek, nincs olyan anyag, melynek atomjai között nyugalmi állapotban szabad elektronok keringenének. Egy-egy anyagban különböző külső behatások / pl. fény, hő, mechanikai nyomás, elektromos gerjesztés stb / hatására az anyag vezetőképességétől függően létrejövő szabad elektronok az anyagot alkotó atomok legkülső elektronhéjáról szakadnak le. Nyugalmi állapotban tehát minden elektron egy meghatározott pályán, az atommag körül kering. Mivel atomi méretekben az elektronoknak ez a mozgási lehetősége viszonylag kis helyre koncentrálódik, ezért az egyes atomok között a legkülső elektronpályán a kémiai kötések ideje alatt előálló elektron hiány vagy elektron többlet csak az atomok molekulává alakulását,

kristályrácsba rendeződését képes előidézni. Nyugalmi állapotban tehát az elektronok kötött mozgási lehetősége miatt az anyagban csak belső elrendeződés jöhet létre, kifelé az anyag elektromosan semleges állapotot mutat. Külső behatása azonban az anyagnak ez az elektromos semlegessége megszűnik, a nagymértékű elektronelvonás vagy elektronfeldusulás következtében az atommag nem képes többé rendszerező, semlegesítő szerepet betölteni. Elektromos gerjesztés esetén a szabad elektronok keletkezésének az oka a külső feszültség által a feszültségforrásból az anyagba emittált elektrontöbblet, mely ütközés folytán az anyagot alkotó atomok legkülső elektronhéjáról további elektronokat választ le. Az így kialakult elektrontöbblet, láncreakciószerűen atomról-atomra közel a fény sebességével vonul végig az anyagon, elektromos áram formájában.

A szabad elektronok ütközéses ionizáló munkája, vagyis az egyes atomok legkülső elektronhéjáról való elektronleválasztás, és az így pozitív töltésűvé vált atomok elektronhéjának más elektronokkal való betöltődése azonban nemcsak az anyag belsejében megy végbe, hanem az anyag felületén is. Az elektronáramlás során tehát az anyag felületén is ugyanugy végig vonul ez az elektrontöbblet, mint az anyag belsejében. Az anyag felületére került elektronok elektromos taszító erejükönél fogva ugyanugy képesek a szomszédos atomok legkülső elektronpályájáról elektronokat leszakítani, mint az anyag belsejében végigvonuló elektronok. Ennek ellenére a felületi elektronok mégis jelentős fizikai változásokat idéznek elő az anyagon, mely változások főleg a fémes anyagoknak az elektrotechnika szempontjából nélkülözhetetlen tulajdonságot kölcsönöznek. Ez a fizikai tulajdonság az elektronáramlás irányára merőleges elektromos erővonal sugárzás, mely azáltal jön létre, hogy az anyag felületére került szabad elektronok sugárirányú erővonalainak csak egy részét fordítják az ütközéses ionizációra, felülről ható atomok hiányában jelentős részük kisugárzódik az anyagból. Ehhez a jelenséghez járul még az ugynevezett Skin-hatás, mely főleg nagyfrekvencián

azáltal jön létre, hogy az anyag belsejében a szabad elektronok a minden irányu taszító hatástól szabadulni igyekezvén kisodródnak az anyag felületére, ahol csak oldalirányu taszító hatással kell számolniok. A Skin-hatás következtében tehát az anyag keresztmetszetében egy látszólagos sűrűségcsökkenés alakul ki, míg az anyag felülete mindig telített állapotban van. Az egyes anyagok elektromos erővonal kisugárzása mindaddig fennmarad, amíg szabad elektronok vannak az anyagban, függetlenül attól, hogy időközben megszüntettük az elektronáramlást / feltöltött kondenzátor /. Az elektronáramlás fenntartása esetén az elektromos erővonalak az elektron áramlással együtt tovább vándorolnak, vagyis a felületi elektronok kisugárzott erővonalaikat magukkal viszik. Ez a fizikai jelenség amellet, hogy a gyakorlat szempontjából önmagában véve is jelentős tulajdonságot kölcsönöz az anyagnak, egy másik kísérő jelenség előidézésére is képes. Ez a kísérő jelenség az elektromosan sugárzó anyagnak az ugynevezett indukáló képessége vagyis az a képesség, hogy folyamatos erővonalváltozás esetén galvanikus kapcsolat nélkül képes egy vele kölcsönhatásban lévő fémes anyagban szabad elektronok létrehozására és mozgatására.

Az egyszerűség kedvéért az indukciókeltés mechanizmusát először vizsgáljuk meg két egymás mellé párhuzamosan kifeszített fémhuzalban/1/a ábra /.Az " a " huzaldarabot helyezzük egyenfeszültség alá, a " b " huzalt pedig egy árammérőn keresztül zárjuk rövidre. Az " a " huzal feszültségre helyezése után a " b " huzal áramkörébe kapcsolt árammérő kileng, jeléül annak, hogy a " b " huzalban egy rövid ideig tartó elektronáramlás jött létre. Az " a " indukáló vagy primér áramkör által a " b " szekunder áramkörben létrehozott kezdeti áram annak tulajdonitható, hogy az " a " huzalban az  $I_a$  irányu elektronáramlás kísérőjelenségeként fellépő elektromos erővonalsugárzás megbontja a " b " huzal egyensúlyi állapotát, szabad elektronokat választ le az elektromos

erővonalak hatása alá került atomok legkülső elektronhéjáról. A " b " huzal atomjai ezáltal a besugárzott helyen ionizált állapotba kerülnek, és mint pozitív töltésű atomok igyekeznek a szomszédos atomok legkülső elektronhéjáról elektronokat leszakítani, hogy saját elektronpályáik eredeti betöltöttségi fokát ismét visszaszerezzék. Ezáltal a " b " huzalban egy olyan sajátos elektronáramlás jön létre, amely mindig ellentétes az " a " huzalban meginduló elektronáramlással, és csak addig tart, amíg az " a " huzal elektromos erővonalai végig nem érnek a vezetéken, tehát amíg a " b " huzal gerjesztett állapotba került atomjainak van honnan elektronokat elvonniuk. Amint a kezdeti erővonalak végig vonulnak az " a " vezetéken, a " b " vezetékben is megszűnik az ellenkező irányú elektronáramlás, és az árammérő nyugalmi helyzetbe tér vissza. Egyenfeszültségű gerjesztés esetén a " b " huzalban leálló elektronáramlás tehát nem annak tulajdonítható, hogy az " a " huzalnak megszűnik a " b " huzalra gyakorolt indukáló hatása, hanem annak tudható be, hogy a " b " huzal atomjai teljes egészében és tartósan gerjesztett állapotba kerültek, s ezáltal nincs több olyan atom a huzalban, amely legkülső elektronhéjáról elektronokat adhatna le. A " b " huzalnak ez a sajátos állapota relative megegyezik a gerjesztetlen állapottal, amikor szintén nincs szabad elektronmozgás az anyagban.

A fémhuzalt ivalakban meghajlítva az elektromos erővonalsugárzás a gyűrűn belül összesűrűsödik, koncentráltan jelentkezik. A fémhuzal spirálba tekercselése esetén az egyes gyűrűk elektromos erővonalai összegeződnek és együttesen fejtik ki a szekunder tekercsre indukáló hatásukat.

/ 1/b-c-d ábrák /. Az indukció hatásfoka nagymértékben függ a primér és szekunder tekercs geometriai tengelyeinek egymással bezárt szögétől, és a két tekercs egymástól való távolságától. Legnagyobb mértékű indukció akkor jön létre, vagyis a primértekercs erővonalai akkor metszik legnagyobb

hatásfokkal a szekunder tekercs meneteit, ha a két tekercs geometriai tengelye egybeesik, vagy párhuzamos egymással, s a közöttük lévő távolság a lehető legkisebb.

Többmenetes tekercsek alkalmazása esetén azonban a primértekercs nemcsak a szekunder tekercsre gyakorol indukáló hatást, hanem a primértekercs egyes menetei között is létrejön egy sajátos indukció, melyet önindukciónak nevezünk. Többmenetes tekercsekben az önindukció jelensége azáltal jön létre, hogy a primér tekercs egyes meneteiben az elektronáramlás által létrehozott elektromos erővonalvándorlás nemcsak a szekunder tekercsre hat indukálólag, hanem a saját tekercsének szomszédos meneteiben is indukál egy ellenkező irányú áramot. A főirányú ohmos áram és az ellenkező irányú önindukciós áram azután egy olyan különleges tulajdonságot kölcsönöz a tekercsnek, amely az alkalmazástechnika szempontjából szinte nélkülözhetetlen. A fémhuzalnak ezt az elrendezését induktivitásnak nevezzük, és a legfőbb tulajdonsága, hogy változó intenzitású áramigénybevétel esetén igen nagy az ellenállása. Az induktivitás változó árammennyiséggel való táplálásakor a nagy ellenállás közvetlenül annak tulajdonítható, hogy az ohmos árammal szemben folyik az önindukciós áram, amely nagymértékben semlegesíti, kiegyenlíti a tekercs ohmos áramfogyasztását. Több különálló tekercs alkalmazásakor hasonló jelenség játszódik le, az egyes tekercsek között is, de a hatás éppen ellentétes, az indukciónak ezt a formáját kölcsönös indukciónak nevezzük. Egyenáramú áramforrás alkalmazásakor a tekercs csak az egyenfeszültség bekapcsolásának pillanatában viselkedik nagy ellenállásként, további indukció nem lévén úgy reagál az egyenáramú áramforrás mintha egy kifeszített drótdarab lenne, annak ellenére, hogy az egyes menetek továbbra is megtartják és koncentrálják elektromos erővonalakat / elektromágnes /.

Ahhoz tehát, hogy egy tekercsben érvényesülni tudjon a nagy ellenállást előidéző önindukciós hatás, a tekercset változó áramerősségű igénybevételnek kell kitenni, vagyis olyan feszültséget kell rákapcsolni, amely a tekercs szabad elektronjait folyton mozgatja. Mivel a váltakozófeszültségű áramforrások a szinuszosan változó amplitudójukkal, és a periódikusan ismétlődő előjelváltásukkal ideálisan kielégítik az előbbi követelményt, ezért a 2/a ábrán látható áramkörben már maradéktalanul és tartósan képes érvényesülni mind az önindukció jelensége, mind a primér vezeték szekundervezetékre gyakorolt indukáló hatása. A primér huzal szekunder huzalra gyakorolt indukáló hatása itt már jóval szemléletesebben alakul ki, mint egyenfeszültségű viszonyok mellett. Váltakozóáramu igénybevétel esetén már bármely időpillanatban jól megfigyelhető az indukció legfőbb sajátossága, a primér áram és az általa indukált szekunderáram közötti  $180^\circ$ -os fáziseltérés / 2/b ábra /. Ugyancsak váltakozóáramu viszonyok mellett nyilvánul meg legszemléletesebben az indukció egy másik nagyon érdekes tulajdonsága, az indukáló és az indukált feszültség fázisazonossága, vagyis az indukciónak az a sajátos hatása, mely szerint a primér és szekunder áram közötti  $180^\circ$ -os fáziseltérés a primér és szekunder feszültség között nem okoz fáziseltolódást / 2/c ábra /.

Ismét az 1/a ábrát alapul véve ennek a sajátos jelenségnek az az oka, hogy a primér feszültség által a primér vezetékbe emittált elektronok, a negatív pólustól pozitív pólus felé irányuló elektronáramlás miatt először mindig a vezeték felső végén jelennek meg. Mint az előzőekben is láttuk a primér vezetékben ez a felülről lefelé elinduló elektronáramlás a vele szinkronban haladó elektromos erővonalkisugárzás következtében a szekunder vezeték töltésegyensúlyát is először a vezeték felső végén bontja meg. A szekunder vezeték felső végén pozitív töltésűvé vált atomok, a primér elektro-

nok elektromos kisugárzása által legkülső elektronhéjukról leszakított elektronokat igyekeznek a még nyugalomban lévő atomoktól elvont elektronokkal pótolni. Mint láttuk ennek tudható be, hogy a szekundervezeték<sup>ben</sup> az elektronáramlás mindig ellenkező irányu, a jelen esetben alulról felfelé irányuló lesz. A szekunderfeszültség azonban nem követi az áram irányát, mivel a primér áram elektromos kisugárzása által leszakított elektronok változatlanul ott vannak a szekunder vezeték felső végén, sőt a számuk egyre növekedik a legkülső elektronhéjuk elektronjaitól megfosztott atomok által elindított ellenkező irányu elektronáramlás következtében. Így a szekunder vezeték felső vége a primér vezeték felső végére kapcsolt negatív pólushoz hasonlóan mindig negatívabb lesz, mint az alsó. Kivülről szemlélve ez a sajátos töltésetolódás okozza a szekunder vezeték két végén keletkező feszültség primér feszültséggel való fázisazonosságát. Természetesen váltakozóáramu táplálás esetén a pozitív és negatív pólusok periódikusan cserélődnek.

A 2/3 ábrán jól végigkövethető az önindukció jelensége is. A fázisviszonyok alapján megállapítható, hogy az  $U_{\max}$  feszültségnél legkisebb a körben folyó áram, ugyanis ekkor a legnagyobb az önindukció, az egyes menetek elektromos kisugárzása ekkor csökkenti legnagyobb mértékben az őt keltő okot a minimumra, ekkor állít az önindukció az ohmos árammal szembe egy csaknem ugyanolyan nagyságu, de ellentétes irányu önindukciós áramot. Mivel a váltakozóáramu igénybevétel nem más, mint állandóan változó intenzitású és periódusonként változó előjelű igénybevételek sorozata, ezért könnyen belátható, hogy az indukciós ellenállásnak is nevezhető induktivitások váltakozóárammal szembeni ellenállása annál nagyobb, minél nagyobb az áramforrás frekvenciája. Ezen a külső meghatározó tényezőn kívül az indukciós ellenállás értékét nagymértékben befolyásolja még a tekercs önindukciós tényezője is, mely egy olyan csatolási tényezőnek tekinthető, mely az egyes menetek méreteiben, számában és elrendezésében nyilvánul meg. Az öninduk-



ciós tényező nagyságát erősen befolyásolja még az elektromos erővonalak közvetítő anyaga, a közvetítő anyag minősége is. Amennyiben az induktív tekercsbe ugynevezett jól mágnesezhető anyagot helyezünk, vagyis olyan anyagot, amelyben az elektromos erővonalak maradandó elektronelrendeződést képesek létrehozni, akkor az indukció hatásfoka jelentékeny mértékben megnövekszik. Az indukció hatásfoknövelésére a gyakorlatban többnyire lágyvasat alkalmaznak, de mivel a tekercs elektromos erővonalai mint minden fémbe így a lágyvasban is áramot indukálnak, ezért az így keletkező örvényáramok minimumra csökkentése érdekében a lágyvasat lemezelni kell, vagy a vasanyagot poralakban ragasztóanyagba ágyazva kell kialakítani.

Az indukció gyakorlati kiaknázása szempontjából igen jelentős az induktivitásoknak az a tulajdonsága, hogy az energiaátadás, a primér tekercsbe táplált energia szekunder tekercsbe táplálása teljesítmény formájában történik. Az induktivitásoknak ezen a tulajdonságán alapul a transzformátor elv is, mely a primér tekercsbe táplálható maximális teljesítményén belül tetszőleges arányban az áram és a feszültség szekunderoldalon való visszanyerését, <sup>tetszőlegesen</sup> teljesítménytranszformáló tulajdonságon kívül a villamosenergia átalakításnak ez a mindmáig nélkülözhetetlen eszköze, az ohmos vagy félvezetőalapú átalakítókkal szemben az önindukció révén még rendelkezik egy igen értékes tulajdonsággal is, hogy a fel nem használt energia szinte teljes egészében visszatáplálódik a hálózatba. Az egyik pólusában földelt villamosenergia szállítás miatt sokszor nélkülözhetetlen tulajdonságnak tekinthető még az indukciós átalakítóknak az az adottsága is, hogy a tápláló és fogyasztó hálózatot egymástól galvanikusan elválasztják. Az előzőek alapján úgy tűnik, hogy az egynél több tekercssel rendelkező induktivitások primér és szekunder tekercse között fellépő kölcsönös indukció, és a primér tekercsben keletkező önindukció között nincs lényeges különbség, hiszen alapjában

véve mindkét jelenség előidézője az indukcióforrásnak tekinthető primér tekercs. Üresjáratu vagyis terheletlen transzformátor esetén ez valóban így is van, a primértekercs által keltett indukció saját tekercsen belül létrehozza a semlegesítő hatású önindukciós áramot, a szekunder tekercs meneteiben pedig megjelenik a primér tekercs által galvanikus kapcsolat nélkül keltett indukciós áram. A szekunder tekercsbe indukált áram és a primér áram között azonban mint az előzőekben is láttuk  $180^\circ$ -os fáziseltérés van, és éppen ez a fáziseltérés az oka a kölcsönös indukció létrejöttének. A szekunder oldal leterhelésekor ugyanis az az ellenfázisú áram megindul a szekunder tekercsben, és mint minden haladó mozgást végző elektronáramlás ez az áram is rendelkezik egy vele szinkronban haladó elektromos kisugárzással. Ez az elektromos erővonal-sugárzás azonban a  $180^\circ$ -os fáziseltérés miatt éppen ellentétes a primér tekercsben uralkodó elektromos erővonalvándorlás irányával, így a két erővonal-sugárzás egymás ellen dolgozik. A szekunder tekercsben tehát kettős indukció lép fel, amíg a primér indukció áramot kelt a tekercsben, addig a meginduló áram által létrehozott szekunder indukció visszahat az őt létrehozó jelenségre, és akadályozni igyekszik azt. A primér és a szekunder indukció együttes hatását nevezzük kölcsönös indukciónak. A kölcsönös indukció azonban azért, hogy akadályozni igyekszik az őt keltő okot, nemcsak a primér tekercs szekunder tekercsre gyakorolt indukáló hatását csökkenti, hanem egyúttal csökken a primér tekercs egyes meneteinek egymásra gyakorolt önindukciós hatása is. Ennek alapján megállapítható, hogy amíg az önindukció jelensége a villamosenergia átalakító transzformátorokra nézve kifejezetten előnyös, addig a kölcsönös indukció hátrányosan fejti ki hatását, mivel az indukciókeltő tekercs fokozatosan elveszti induktív jellegét. A gyakorlatban ez a hatás a már ismert módon nyilvánul meg, a szekunder terhelés növekedésével a primér tekercs egyre inkább ohmossá válik, és ezáltal

egyre nagyobb áram folyik át rajta.

A primér és szekunder tekercs áramainak  $180^\circ$ -os fáziseltérésére alapul az autotranszformátor elve is. A primér és szekunder tekercs 3/a ábra szerinti egyesítésével a két tekercsben uralkodó feszültség, a fázisazonosság miatt összeadódik. A p1 - s2 pontokra kapcsolt terhelésen tehát a primér és szekunder tekercs feszültségének az összege jelenik meg. Külső terhelés hatására a primér és szekunder tekercsekben külön-külön folyó áramok összege azonban nem egyezik meg a két sorbakapcsolt tekercs eredő áramfelvételével. Ennek a jelenségnek az ellenfázisu elektronáramlás az oka, a szekunder tekercsben keletkező áram ugyanis a  $180^\circ$ -os fáziseltérés miatt a primér árammal szembe folyik, így a két áram igyekszik egymást semlegesíteni. Végeredményképpen a tekercseknek csak a két áram közötti különbséget kell szállítaniuk, tehát azonos teljesítményű transzformátorok esetén az autotranszformátorok kivitelezéséhez jóval kisebb keresztmetszetű huzal is elegendő. Emiatt ezt a típusu transzformátort takaréktanszformátornak is nevezzük. Hátrányos tulajdonsága, hogy a primér és szekunder oldal között a galvanikus leválasztás megszűnik.

Állítsunk két fémlapot egymással szembe a 3/b ábrán látható módon. Kössük az egyik fémlapot egy egyenfeszültségű áramforrás negatív, a másik fémlapot a pozitív sarkára. Ekkor az áramforrás negatív pólusától az összekötő vezetéken át elektronok áramlanak az " a " lap felé, melyben ezáltal elektron-többlet keletkezik. A kondenzátor negatív fegyverzetében felgyülemlett szabad elektronok a vékony légréven át taszítólag hatnak a pozitív fegyverzet elektronjaira. A negatív fegyverzet légrés mentén felsorakozó szabad elektronjainak elektromos erővonal kisugárzása folytán a " b " lap atomjainak legkülső elektronhéjáról elektronok válnak le. Ezeket a szabad elektronokat az egyenfeszültségű áramforrás pozitív pólusa, elszívó

ereje folytán szinte teljes egészében kiszippantja a pozitív fegyverzetből, mely által a " b " lap erősen pozitívvá válik. Ezután a rövid feltöltődési folyamat után egyensúlyi állapot áll be a rendszerben, s az áramkörben minden további elektronáramlás megszűnik. Az áramkör megszakítása esetén a kondenzátor változatlanul megtartja feltöltött állapotát, egyenfeszültségű áramkörben tehát a kondenzátor úgy viselkedik mint egy töltéstároló, elektronsűrítő, elem. Mivel az egyensúlyi állapot beálltával az áramkörben minden további elektronáramlás megszűnik, ezért a kondenzátor egyenfeszültségű áramkörökben olyan elemként is felfogható, amely a bekapcsolás pillanatában rövid ideig igen nagy áramot enged át magán, ezután pedig végtelen nagy ellenállásként viselkedik. A feltöltött kondenzátor rövidrezárása, kisütése esetén a bekapcsolás pillanatához hasonló gyors és intenzív elektronáramlás jön létre az áramkörben, csak ellenkező irányban. /Töltéskiegyenlítődés /. A kondenzátor kapacitása, vagyis egyenfeszültségű áramkörökben a töltéstároló képessége annál nagyobb, minél nagyobb az egymással szembenálló fémlapok felülete, és minél kisebb a közöttük lévő távolság. A távolság csökkentésének azonban határt szab a két fémlemez közötti átütés veszélye. A kapacitás értékét nagymértékben befolyásolja még a két fémlemez közötti szigetelőréteg dielektrikuma, ugyanis a lemezek eltérő töltésállapota következtében a szigetelőrétegben egy kismértékű ohmos áram jön létre, amely csökkenti a töltéstárolás hatásfokát.

Mint láttuk egyenfeszültségű igénybevétel esetén az áramkörben csak a bekapcsolás és a kikapcsolás pillanatában jött létre elektronáramlás, tehát akkor amikor valamilyen változás történt, a kondenzátor töltésállapotában. Mivel a váltakozó feszültségű igénybevétel egy folyton változó áramigénybevételt jelent, ezért a kondenzátor váltakozó feszültségű áramforrásra való kapcsolásakor az áramkörben egy folytonos töltésállapot változás jön létre. / 3/c ábra/. Az összekötő

vezetékben ez az állandóan változó elektronáramlás egy periódikusan ismétlődő és félperiódusonként változó előjelű töltési és kisütési folyamat eredményeként alakul ki. A 3/d ábra szemléletesen mutatja bármelyik fázishelyzetben a kondenzátorban kialakuló feszültség és áramviszonyokat, az áram és feszültséggörbe egymáshoz viszonyított fáziseltolódását. Annak ellenére, hogy a kondenzátor megszakítja az ohmos összeköttetést az áramkörben, megállapítható, hogy sajátos vezetési mechanizmusa folytán váltakozó áramú körökben mégis alkalmas hatásos áram létrehozására. Kivülről szemlélve ez az áram úgyis felfogható mintha a kondenzátoron folyna keresztül, ezért a könnyebb kezelhetőség végett a gyakorlati számítások már erre a feltételezésre épülnek. Így jött létre a kapacitív ellenállás fogalma is. A kondenzátor váltakozó áramú ellenállását nemcsak a névleges kapacitása befolyásolja, hanem az áramforrás periódusszáma is. A kondenzátor váltakozóárammal szembeni kapacitív ellenállása annál kisebb, minél nagyobb a kapacitása, és minél nagyobb a váltakozó feszültség frekvenciája.

Visszatérve most az előzőekben ismertetett induktivitások működési mechanizmusára helyezzük a 4/a ábrán látható tekercset váltakozó feszültség alá. Mint az előzőekben is láttuk, a váltakozó feszültség okozta periódikus áramirányváltás valamint az elektronok mennyiségének folytonos változása, az önindukció révén olyan változásokat idéz elő a tekercsben, melynek végeredménye a tekercsben folyó, áram és az áramot létrehozó feszültség közötti  $90^\circ$ -os fáziseltolódás. Szakítsuk most meg az áramkört és vizsgáljuk meg, hogy az induktivitás hogyan reagál a külső feszültség hirtelen megszűnésére. A 4/b ábrán látható módon ebben az esetben a tekercsben egy ugynevezett induktív feszültséglökés jön létre, mely az eddigi gyakorlat szerint a periférikus áramkörök szempontjából inkább káros, mint hasznos szerepet töltött be. Tovább vizsgálva a jelenséget, igen szembeötlő ezeknek a kikapcsoláskor keletkező induktív feszültséglökéseknek az amplitudója. Még

átlagos induktív ellenállással rendelkező tekercs esetén is egy-egy feszültséglökés értéke több, mint egy nagyságrenddel nagyobb, mint a tápfeszültség csúcserőértéke. Ennek az intenzív hatásnak a magyarázata közvetlenül az indukció elvében keresendő, ehhez hasonló jelenség sem ohmos áramköri elemekben, sem a szintén eltolt fázisú árammal jellemezhető kondenzátorokban nem tapasztalható. Mint az előzőekben is láttuk, tartósan váltakozó feszültségre kapcsolt tekercs esetében a külső feszültség által létrehozott elektronáramlás, egy folyamatosan változó intenzitású elektromos erővonalvándorlást indít el a tekercs minden egyes menetében. Ezek az erővonalkisugárzások kihatnak a szomszédos menetekre is, és az ohmos áram mellett egy ellenkező irányi áramot hoznak létre. Attól függően, hogy az induktivitáson belül az egyes menetek egymással galvanikus kapcsolatban vannak vagy sem, ez az áram indukciós / szekunder tekercs / vagy önindukciós / primér tekercs / is lehet. A keletkező induktív áram azonban sohasem lehet nagyobb, mint az őt létrehozó ohmos áram. Az indukció jelensége ugyanis áttételesen hat, a külső feszültség által létrehozott ohmos áram a tekercs egyes meneteiben előbb elektromos kisugárzást hoz létre, majd ez az elektromos erővonalkisugárzás kihatva az induktivitás többi meneteire képes csak létrehozni az induktív áramot. Az induktív áram tehát az energiaátalakulás okozta veszteségek miatt mindig alatta marad az ohmos áram értékeinek. Ez azt jelenti, hogy az indukció jelensége csak energia transzformálásra képes, energiatermelésre, többletenergia előállítására nem. Tartósan feszültség alá helyezett induktivitásokban az önindukcióra is mint az indukciós jelenség sajátos megnyilvánulási formájára csak energiavisszatápláló feladat hárul, mélyreható változások előidézésére az önindukció ebben az állapotban nem képes.

Mint az előzőekben is láttuk, az önindukció energiavisszatápláló hatása külsőleg a tekercsellenállás látszólagos megemelkedésében nyilvánul meg. Belülről szemlélve a jelenséget az egyes menetek egymásra hatása következtében minden egyes

menetben az ohmos áram mellett létrejön egy ellenkező irányú áram. A fáziskülönbség miatt a két áram egymás ellen dolgozik, megpróbálják egymást semlegesíteni. Mivel az induktív áram a gyengébb, ezért az ohmos áramnak a tekercs meneteiben keletkező induktív áramot még a tekercsen belül sikerül semlegesítenie, megakadályozva ezzel az önindukciós áram tekercsből való kijutását. Az áramkör megszakításakor azonban az ohmos áram megszűnik, az általa létrehozott elektromos erővonalmenyiség viszont még egy rövid ideig fennmarad. Ez a fennmaradó erővonalmenyiség a megszakítás után is ugyanugy végzi tovább indukáló tevékenységét, mintha semmi változás sem történt volna az áramkörben. Természetesen a tekercs felhalmozódott elektromos erővonalaknak ez az utólagos indukáló hatása energiatánpótlás hiányában csak nagyon rövid ideig tart, ez alatt az idő alatt azonban mélyreható változások mennek végbe a tekercsben. A fennmaradó elektromos erővonalak által létrehozott önindukciós áramnak az áramkör megszakítása következtében nem kell többé szembenéznie a külső feszültség hatására keletkező ohmos árammal, ezért nincs ami semlegesítse, nincs ami közömbösítse energiáját. Az önindukciós áram a felhalmozódott elektromos erővonalak elhalásáig szabadon fejtheti ki hatását, útjában csak egyetlen akadály áll, a tekercs ohmos ellenállása. Mivel a tekercs által a kikapcsolás után még egy ideig tárolt elektromos erővonalmenyiség ugyanugy fejti ki hatását, mint ahogy keletkezett, tehát menetenként összegeződve, ezért minden egyes menetben azonos árammenyiség keletkezik. Az egyes menetekben keletkezett árammenyiség a menetek ohmos ellenállásán egy meghatározott feszültségesést hoz létre, és tulajdonképpen menetről-menetre összegeződve ezek a feszültségesések hozzák végül létre az induktív feszültséglökést, a tekercs két végén. Az induktív feszültséglökés nagyságát, az ohmos áram által elektromos erővonalak formájában átadott energiamennyiség, és a tekercs meneteinek a száma szabja meg elsősorban, de a keletkező feszültség amplitudóját nagymértékben befolyásolja még a

tekercs önindukciós tényezője is. Mindezek alapján megállapítható, hogy az önindukcióban mint jelenségben olyan energiaátalakítási lehetőség rejlik, melynek kihasználásával az induktivitásokba táplált feszültséget anélkül tudjuk feltranszformálni, hogy ahhoz bármiféle eddig ismert átalakító, feszültségszorzó eszközt kellene igénybe vennünk.

Tulajdonképpen erre az elvre épül a találmány szerinti váltakozó feszültség feltranszformáló eljárás, és az ennek alapján készíthető találmány transzformátor. Az induktív feszültség-lökések számának növelésével ugyanis elérkezünk egy olyan szintre, amikor ezek az egymást követő feszültségimpulzusok egy folytonos összefüggő feszültséggörbét alkotnak, és együttes hatásukban alkalmasak arra, hogy a továbbiakban mint feltranszformált váltakozó feszültség fejtsék ki hatásukat. / 5/a ábra /. A találmány transzformáló eljárás nagy előnye a hagyományos feszültségátalakító eljárásokkal szemben az, hogy ezzel a módszerrel nemcsak külön induktív energiaátalakító egység igénybevételével lehet feltranszformált váltakozó feszültséget előállítani, hanem bármely induktív jellegű fogyasztó meddő energiájának közvetlen felszabadítása útján is. Induktív jellegű fogyasztó induktív energiájának kinyerése, a rajta lévő feszültség feltranszformálása érdekében, a találmány szerinti eljárás során semmi mást nem kell tenni, mint a fogyasztóval egy periódikus megszakító egységet sorba kapcsolni, és a fogyasztón a kapcsolási frekvenciától függően megjelenik a feltranszformált feszültség.

A kapcsolási frekvencia módosításával azonban feszültségváltozást nem lehet elérni a körben. A találmány feszültségtranszformáló eljárás függetlenül a kapcsolási frekvenciától a terhelő áramkörből mindig a maximális induktív feszültséget hozza ki. A kapcsolási frekvencia módosításvál csak a terhelésen megjelenő induktív teljesítményt tudjuk szabályozni a feszültséget nem. Ha a külső tápláló feszültség bármely félperiódusában csak egyszer kapcsoljuk be a megszakító áramkört, akkor erre az egy megszakításra is ugyanakkora feszültség keletkezik, mintha folytonos nagy frekvenciával történne a meg-



szakítás. A különbség csak annyi, hogy amíg az előző esetben a terhelésen csak egy keskeny impulzusszerű feszültség keletkezik, addig az utobbi esetben a túlimpulzusok olyan gyorsasággal követik egymást, hogy folytonos feszültséggörbét alkotnak. Mivel a feszültséggörbe alatti terület egyenlő a keletkezett feszültség teljesítőképességével, ezért könnyen belátható, hogy a kapcsolási frekvencia csak a kinyert induktív energia mennyiségét képes befolyásolni, a feszültségimpulzusok amplitudóját nem. Önmagában véve ez a tulajdonság igen nagy mértékben leszűkítene az eljárás alkalmazhatóságát, sőt a mi esetünkben a találmány eljárás legalapvetőbb tulajdonságát a feszültségtranszformálást a feszültség változtathatóságát tenné lehetetlenné. A széles körű alkalmazhatóság érdekében tehát valamilyen módon meg kell oldani ennek a nagy induktív feszültségnek a kívánt értékre való lecsökkenthetőségét.

A maximális értékű induktív feszültség csökkentésére legkézenfekvőbb módszernek a söntöléses eljárás kínálkozik, tehát egy párhuzamosan kapcsolt ellenállással felemésztethetjük a felesleges induktív energiát, s ezáltal a sönthetés következtében csökken a terhelőellenállásra eső induktív feszültség is. Ez a módszer azonban azon túlmenően, hogy igen gazdaságtalan, nagyteljesítményű transzformálás esetén még jelentős hőelvezetési problémákat is okoz. Ezért a találmány transzformáló eljárás az induktív feszültség kívánt értékre csökkentését más úton valósítja meg. Mivel a módszer közvetlenül visszavezethető egy induktivitás és egy kondenzátor közötti áramrezonancia esetére ezért tekintsük most át a párhuzamos  $L - C$  körök működési mechanizmusát.

Az 5/b ábrán látható párhuzamos kör " $L$ " induktivitását és " $C$ " kapacitását külön-külön vizsgálva mindkét elem meghatározott reaktanciával rendelkezik. Amennyiben a két elem induktív és kapacitív ellenállása megegyezik, akkor egy sajátos

áramvezetés lép fel a körben, melyet rezonanciának nevezünk. Az  $X_L = X_C$  -vel jellemezhető párhuzamos L-C körök sajátos áramvezetése abban nyilvánul meg, hogy az " $U_K$ " külső feszültség bekapcsolása után a körben folyó áram a közös tápláló vezetékben nem mutatható ki, minimális veszteségektől eltekintve a tápvezetékben áram nem folyik. A két alapelem bevezetőben ismerttetett működési mechanizmusa, valamint az áramfeszültség karakterisztikák egymáshoz viszonyított eltolódásai segítségével könnyen belátható, hogy mi ennek a sajátos elektronáramlásnak az oka. Összevetve a körben folyó induktív és kapacitív áramok periódusviszonyait megállapítható, hogy rezonancia esetén az induktív és kapacitív áram között pontosan  $180^\circ$ -os fáziseltérés van. / 6/a ábra. Ez azt jelenti, hogy a váltakozó feszültség pozitív és negatív félperiódusaiban egyszerre van a körben áramfelvétel, és áram leadás. Rezonancia esetén tehát az első negyed periódusban a kondenzátor áramigényét pontosan fedezi az induktivitásban az önindukció által keltett áram, a második negyed periódusban pedig az induktivitás nem kényszerül a hálózathoz áramot felvenni, mivel a kondenzátor által ugyanabban a negyed periódusban visszatáplált áram fedezi az áramigényét. Kivülről szemlélve a rendszer ugyanis felfogható, hogy a két áram semlegesíti egymást, és ezért nem folyik különbségi áram a tápvezetékben. Párhuzamos L-C körök esetén tehát a külső tápfeszültségre csak egy elektronáramlást fenntartó, az elektronokat a két elem között periódikusan oda-vissza mozgó szerep hárul, a tápáramforrás energialeadásra nem kényszerül. Az elektrotechnikának ez a sajátos esete jól analogizálható a mechanikában ismert helyzeti és mozgási energiák közötti viszonyal. Rezonanciában levő párhuzamos L-C körökben a külső tápfeszültség mint helyzeti energia már azáltal betölti szerepét, hogy létezik, nem kényszerül tehát mozgási energiává átalakulni, vagyis energiáját folytonos elektronáramlás formájában leadni.


A párhuzamos L-C köröknek ebből a sajátos viselkedéséből, mely szerint energiát nem vonnak el a tápáramforrásból, tehát ohmos áram nem folyik rajtuk keresztül, számunkra igen fontos

következtetés vonható le. Az előzőek alapján ugyanis megállapítható, hogy egy induktivitással párhuzamosan kapcsolt kondenzátor anélkül képes csökkenteni vagy rezonancia esetén teljes mértékben elvonni az induktív energiát, hogy abból bármilyen veszteség keletkezne. A találmány feszültségtranszformáló eljárás esetében tehát ha induktív fogyasztóval párhuzamosan kapcsolunk egy kondenzátort, akkor a kondenzátor olymódon képes csökkenteni a terhelés induktív energiáját, hogy abból nem keletkezik veszteség. Az előzőekben felvetett ellenállásos energiacsökkentéssel szemben nem kell számolnunk az elvont energia hőveszteséggé alakulásával, és így ohmos veszteségi áram sem terheli feleslegesen a hálózati vezetékeket. A találmány feszültségtranszformáló eljárásban tehát eltekintve a feltranszformált feszültséget hasznosító egység terhelő-ellenállását, a keletkező feszültség nagyságát döntően az áramkör kapacitív reaktanciája szabja meg. Minél jobban megközelelti a találmány transzformátorban a kapacitív reaktancia az induktív reaktancia értékét, annál kisebb lesz a feltranszformált feszültség.

A találmány transzformátor gyakorlati kivitelezése két úton történhet, a kapcsolóelem jellegétől függően a transzformálás elektronikus vagy mechanikus formában valósítható meg. / 6/b ábra/. Az elektronikus módszernél a tápfeszültség periódikus megszakítását egy impulzusgenerátorról vezérelt félvezetőelem végzi / pl triac, AC - tranzisztor /. A mechanikus eljárás során a periódikus megszakítás egy forgó, vagy rezgőmozgást végző mechanizmus segítségével hozható létre. / pl vibrátor, kommutátoros forgómechanizmus. / A találmány transzformátor gyakorlati hasznosítása a villamosipar minden olyan területén lehetséges, ahol méret, súly, vagy gazdaságossági szempontok miatt a hagyományos induktív átalakítók használata nem célszerű, vagy lehetetlen. Konstans kapcsolási frekvenciát alkalmazva a találmány szerinti eljárás előnyösen felhasználható a mérés-technikában is, különböző ohmos fogyasztók induktív energiájának, meddőteljesítmény felvételének gyors és egyszerű kimutatására.

Szabadalmi igénypontok:

- 1./ Eljárás váltakozó feszültség elektronikus vagy mechanikus uton való feltranszformálására, és transzformátor, azzal jellemezve, hogy a feltranszformált feszültség egy vagy több induktív jellegű elem induktív energiájának impulzusonként való felszabadításával hozható létre.
- 2./ Az 1. igénypontban meghatározott transzformátor kiviteli alakja, melyre jellemző hogy félvezetőalapú elektronikus kapcsolóeleme / 1 / és feszültség szabályozó kondenzátora / 2 / van.
- 3./ Az 1. igénypontban meghatározott transzformátor kiviteli alakja, melyre jellemző hogy mechanikus mozgást végző kapcsolóeleme / 1 / és feszültség szabályozó kondenzátora / 2 / van.

  
.....  
/ Kun Ákos /

K i v o n a t

Eljárás váltakozó feszültség elektronikus vagy mechanikus uton való feltranszformálására és transzformátor.

A találmány feszültségtranszformáló eljárás és az eljárás alapján létrehozható transzformátor a rendelkezésre álló váltakozó feszültség feltranszformálását hagyományos induktív átalakítók, feszültségsokszorozók igénybevétele nélkül valósítja meg. A feltranszformált feszültség bármely induktív jellegű elem induktív energiájának a felszabadítása útján jön létre. Az induktív energia felszabadítása elektronikus vagy mechanikus kapcsolóelem segítségével történik.